

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungen	IV
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung	3
1.3 Aufbau der Arbeit	4
2 Stand der Forschung und Technik	7
2.1 Einführung relevanter Begriffe der Schwingungslehre	7
2.2 Einführung relevanter Grundlagen der Signalanalyse	9
2.2.1 Spektralanalyse für eindimensionale Signale	9
2.2.2 Spektralanalyse für zweidimensionale Signale	12
2.2.3 Bildpyramiden und Wavelets	14
2.2.4 Unsicherheiten bei der Analyse von Phaseninformationen	16
2.2.5 Korrelation als Qualitätsmerkmal und zur Filterung von Signalen	18
2.3 Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen	20
2.3.1 Grundlagen des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen	20
2.3.2 Schwingungsarten und Ursachen in Werkzeugmaschinen	22
2.4 Schwingungsanalyse von Werkzeugmaschinen	25
2.4.1 Datenquellen zur Schwingungsanalyse	26
2.4.2 FEM-Simulationen zur Bestimmung des dynamischen Verhaltens	29
2.4.3 Experimentelle Modalanalyse	30
2.4.4 Betriebsschwingungsanalyse	32
2.4.5 Zusammenfassung	34
2.5 Methoden zur Analyse von Bewegungen in Bildfolgen	35
2.5.1 Kamerakalibrierung	36
2.5.2 Template Matching	38
2.5.3 Feature Point Matching	39
2.5.4 Optischer Fluss	40

2.5.5	Phasenbasierte Bewegungsanalyse	41
2.5.6	Zusammenfassung der Analyse von Bewegungen in Bildfolgen	48
2.6	Defizite im Stand der Forschung und Technik	51
3	Zielsetzung und Vorgehensweise	53
3.1	Zielsetzung	53
3.2	Vorgehensweise	53
4	Hardware zur Datengenerierung	57
4.1	Kamerasystem	57
4.2	Kamerabefestigung und Bestimmung von Kamerabewegungen	58
4.3	Beleuchtung	60
4.4	Hardware zur Datenerfassung und Versuchssteuerung	61
5	Allgemeine Einflussgrößen der Videoaufnahme und Datenauswertung	63
5.1	Vorgehensweise	63
5.2	Allgemeine Einflussgrößen bei der Videoaufnahme	66
5.3	Einfluss der Pixel-Auswahl auf die Datenanalyse	70
5.3.1	Zusammenhang zwischen Amplitude, Phase und Objektbewegung	71
5.3.2	Einfluss der Region of Interest auf die Bewegungsanalyse	74
5.4	Vermeidung von Störeinflüssen in der Werkzeugmaschinenanwendung	77
6	Werkzeugmaschinenspezifische Einflussgrößen und Maßnahmen	82
6.1	Vorgehensweise	83
6.2	Späne im Bildbereich	84
6.2.1	Einfluss von Spänen auf die Analyse von Werkstückschwingungen	85
6.2.2	Kompensation von Spänen bei der Analyse von Werkstückschwingungen	87
6.3	Einfluss und Vermeidung von Fluktuationen der Beleuchtung	92
6.3.1	Einfluss von Fluktuationen der Beleuchtung durch Werkzeugrotation	93
6.3.2	Vermeidung des Einflusses der Werkzeugrotation auf die Beleuchtung	96
6.4	Vermeidung des Einflusses der Werkzeugrotation	97
6.5	Kompensation von Achsbewegungen in Werkzeugmaschinen	100
6.5.1	Kompensation von Achsbewegungen durch Tracking	101

6.5.2	Kompensation von Achsbewegungen durch Achsdaten	104
6.6	Zusammenfassung von Ansätzen zur Kompensation von Störeinflüssen	108
7	Validierung in Zerspanversuchen	110
7.1	Analyse von Werkstückschwingungen	110
7.1.1	Vorgehensweise	111
7.1.2	Versuche mit hoher Spindeldrehzahl und hohem Zahnvorschub	116
7.1.3	Versuche mit niedriger Spindeldrehzahl und niedrigem Zahnvorschub	121
7.1.4	Varianz von Videosignalen unter gleichen Schnittparametern	126
7.2	Analyse von Maschinenschwingungen mit Relativbewegung	128
7.2.1	Vorgehensweise	129
7.2.2	Schwingungsanalyse mit durch Achsdaten stabilisierten Videos	131
7.2.3	Schwingungsanalyse mit durch Tracking stabilisierten Videos	133
7.3	Verstärkung von ausgewählten Bewegungsfrequenzen	134
8	Bewertung	140
8.1	Allgemeine Einflussgrößen bei der Videoaufnahme und Datenauswertung	140
8.2	Einflussgrößen bei der Analyse von Videodaten aus Werkzeugmaschinen	142
8.3	Validierung in Zerspanversuchen	144
8.3.1	Analyse von Werkstückschwingungen	144
8.3.2	Analyse von Maschinenschwingungen mit Relativbewegung	146
8.3.3	Verstärkung von ausgewählten Bewegungsfrequenzen	147
9	Zusammenfassung und Ausblick	149
9.1	Zusammenfassung	149
9.2	Ausblick	151
10	Literaturverzeichnis	153
Abbildungsverzeichnis		1
Tabellenverzeichnis		VIII